

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号
特開2001-334380
(P2001-334380A)

(43) 公開日 平成13年12月4日 (2001.12.4)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テームコード* (参考)
B 2 3 K 26/04		B 2 3 K 26/04	C 2 H 0 8 7
26/06		26/06	Z 4 E 0 6 8
G 0 2 B 17/08		G 0 2 B 17/08	Z

審査請求 未請求 請求項の数 8 O L (全 12 頁)

(21) 出願番号 特願2000-152929 (P2000-152929)

(22) 出願日 平成12年5月24日 (2000.5.24)

(71) 出願人 390014672

株式会社アマダ

神奈川県伊勢原市石田200番地

(72) 発明者 迫 宏

神奈川県伊勢原市高森6-1624

(74) 代理人 100083806

弁理士 三好 秀和 (外 8 名)

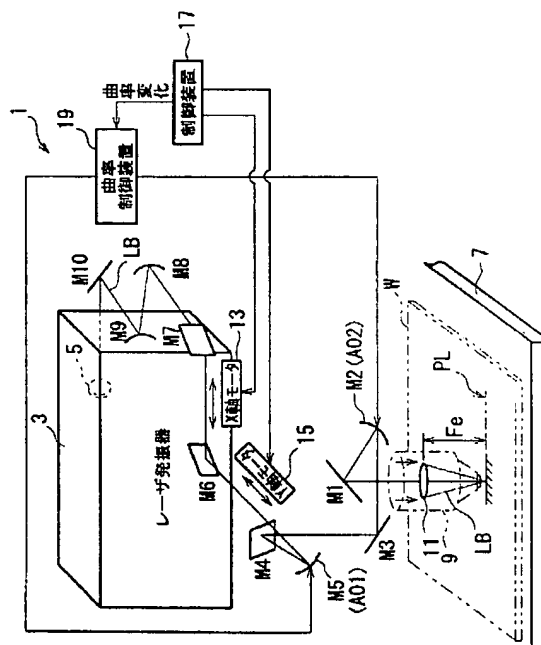
Fターム(参考) 2H087 KA26 RA27 TA01 TA02 TA05
4E068 CA07 CA11 CB01 CB05 CD12
CE02

(54) 【発明の名称】 レーザ加工方法及びその装置

(57) 【要約】

【課題】 ワークの板厚に適した集光ビーム径にてレーザ加工を実現し、高出力レーザにも対応でき、レンズ方式よりも構造的な簡略化を図り、アライメントズレに対する調整困難さをも軽減する。

【解決手段】 レーザ発振器3から出力されたレーザ光LBを複数のミラーで反射させた後、ワークWに対して相対的にX軸方向及びY軸方向へ移動自在なレーザ加工ヘッド9内の集光レンズ11で集光せしめてワークWにレーザ加工を行う。レーザ光LBの光路中に2つの第1、第2曲率可変ミラーM5、M2を配置する。第1、第2曲率可変ミラーM5、M2のうち一方の曲率半径を凹面とし、他方の曲率半径を凸面とするように対で制御する。しかも、ワークWのレーザ加工点での有効焦点距離Feをほぼ一定となるように第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を制御せしめる。薄板用と厚板用のワークのレーザ加工が容易に確実に行われる。



BEST AVAILABLE COPY

【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ発振器から出力されたレーザビームを複数のミラーで反射させた後、レーザ加工ヘッド内に設けた集光レンズで集光せしめ、この集光レンズで集光されたレーザビームを加工テーブルに載置したワークへ向けて照射せしめると共に、前記加工テーブルとレーザ加工ヘッドを相対的にX軸方向、Y軸方向へ移動せしめ、前記ワークにレーザ加工を行うレーザ加工方法において、

レーザビームの光路中に第1曲率可変ミラーを配置し且つ第2曲率可変ミラーをレーザビームの光路中における前記集光レンズの近傍に配置し、前記第1及び第2曲率可変ミラーのうち一方の曲率半径を凹面とし、他方の曲率半径を凸面とするように対で制御すると共にワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定となるように前記第2曲率可変ミラーの曲率半径を制御せしめることを特徴とするレーザ加工方法。

【請求項2】 前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御する際に、レーザ加工点で小さな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とし、レーザ加工点で大きな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とすることを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。

【請求項3】 第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御する際に、レーザ発振器からレーザ加工点までのレーザビームの光路長が近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定とすべき前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径と前記レーザビームの光路長との一次関数式を予め光伝播計算により求め、この一次関数式に基づいて前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を制御することを特徴とする請求項1記載のレーザ加工方法。

【請求項4】 レーザ発振器から出力されたレーザビームを複数のミラーで反射させた後、レーザ加工ヘッド内に設けた集光レンズで集光せしめ、この集光レンズで集光されたレーザビームを加工すべきワークへ向けて照射せしめると共に、前記加工テーブルとレーザ加工ヘッドを相対的にX軸方向、Y軸方向へ移動せしめ、前記ワークにレーザ加工を行うレーザ加工装置において、レーザビームの光路中に配置した第1曲率可変ミラーと、レーザビームの光路中における集光レンズの近傍に配置した第2曲率可変ミラーと、前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を制御する曲率制御装置と、前記第1及び第2曲率可変ミラーのうち一方の曲率半径を凹面とし且つ他方の曲率半径を凸面とするように対で制御すべく曲率制御装置に指令を与えると共にワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定となるように前記第2曲率可変ミラーの曲率半径を調整する指令を与える

制御装置と、を備えてなることを特徴とするレーザ加工装置。

【請求項5】 前記制御装置が、レーザ加工点で小さな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とする指令を与えると共に、加工点で大きな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とする指令を与える指令部を備えてなることを特徴とする請求項4記載のレーザ加工装置。

【請求項6】 前記制御装置が、レーザ発振器からレーザ加工点までのレーザビームの光路長が近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定とすべき前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径と前記レーザビームの光路長との一次関数式を記憶するメモリと、この一次関数式に基づいてレーザビームの任意の光路長に対応する前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を計算する演算装置と、この演算装置で求めた計算値に基づいて前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御する指令を与える指令部と、を備えてなることを特徴とする請求項4記載のレーザ加工装置。

【請求項7】 前記レーザ加工ヘッドをY軸方向へ移動するYキャレージを設け、このYキャレージをX軸方向に移動するXキャレージを設け、前記第1及び第2曲率可変ミラーを前記Yキャレージに設けてなることを特徴とする請求項4、5又は6記載のレーザ加工装置。

【請求項8】 前記第2曲率可変ミラーを前記Yキャレージ又はレーザ加工ヘッド内に設けてなることを特徴とする請求項4、5又は6記載のレーザ加工装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、ワークにレーザ加工を行うレーザ加工方法及びその装置に関する。

【0002】

【従来の技術】従来、ワークにレーザ加工を行うレーザ加工装置において、異なる板厚を加工する場合、例えば薄板を加工する場合、レーザ加工点での集光ビーム径はできるだけ小さい方が高速・高精度切断が可能であるため短焦点集光レンズが用いられている。

【0003】また、板厚が厚い場合には、その板厚に適した集光ビーム径が存在するために大きめの集光ビーム径が得られる長焦点集光レンズを用いてレーザ加工が行われる。

【0004】そこで、レーザ加工装置の中で、自動化・省力化を図るとしても、オペレータがマニュアルに基づいて加工すべき板材に応じて集光レンズを短焦点レンズあるいは長焦点レンズに交換するシステムでは、全体的に製品を完成するまでの時間が長くなり、不具合を生じる。

【0005】したがって、一般的には図14(A)、

(B) に示されているような透過レンズ型ズームングシステムが提案されて商品化されている。ただし、このズームング方式は1000～2000W以下の低パワーのみである。

【0006】例えば、図14(A)、(B)において、図示せざるレーザー加工ヘッド内にはレーザー光L BをワークWのレーザー加工点へ集光せしめる集光レンズ101が設けられており、この集光レンズ101の上方には凸レンズ103と凹レンズ105がそれぞれ上下動自在に設けられている。すなわち、有効焦点距離 F_e は集光レンズ101自体の焦点距離に対して入射する集光レンズ101上のビーム径Dや発散角により影響を受けて変化するので、有効焦点距離 F_e をほぼ一定に保持しながらレーザー加工点の集光ビーム径 d_0 を大きくしたり小さくしたりするために上記の凸レンズ103と凹レンズ105が組み合わせられて上下動される。

【0007】凸レンズ103と凹レンズ105の上下動により、図14(A)では集光レンズ101上のビーム径Dが小さく(小ビーム径に)されてレーザー加工点の集光ビーム径 d_0 を大きくしており、逆に図14(B)では集光レンズ101上のビーム径Dが大きく(大ビーム径に)されて集光ビーム径 d_0 を小さくしている。

【0008】また、図15を参照するに、従来の光軸移動型レーザー加工装置107においては、レーザー発振器109から出力されたレーザー光L Bは9枚の反射ミラー(M10～M3及びM1)を介して集光レンズ111により集光される。また、このレーザー加工装置107では6軸制御の3次元レーザー加工機として示されている。例えば、加工テーブル(図示省略)上にセットされたワークWの上方にはX軸方向、Y軸方向へ移動自在なレーザー加工ヘッド(図示省略)が設けられており、しかも、このレーザー加工ヘッド内には集光レンズ111が備えられている。レーザー加工ヘッドは、X軸モータ113にリンクして図示省略のXキャレッジによりX軸方向へ、Y軸モータ115によりリンクして図示省略のYキャレッジによりY軸方向へ移動されるように構成されている。また、集光レンズ111はZ軸方向に上下動自在に構成されている。

【0009】また、XキャレッジにはミラーM6が設けられていると共にYキャレッジには複数のミラーM5、M4、M3並びにミラーM1が設けられている。さらに、光伝播特性の立場からミラーM9に凸ミラー、ミラーM8に凹ミラーが採用され、近場加工点から遠場加工点までの光路差 $\Delta=4.5\text{m}$ に対して平滑ビームとなるようにミラーM9及びミラーM8の曲率が決定され固定されている。

【0010】また、上記のミラーM5には曲率可変ミラー(アダプティグ・オブティクスで、「AO」という)が採用されており、近場加工点から遠場加工点の間で生じる有効焦点距離 F_e の差 $\Delta=(F_e)_{遠}-(F_e)_{近}\approx 1.5$

～2mmを補正して全加工領域において一定の有効焦点距離 F_e で加工できるようになっている。

【0011】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来のレーザー加工装置における透過組合せレンズズームング方式では、以下の問題点があった。

【0012】(1)レーザー出力2000W以上のシステムでは、高出力に伴う熱レンズ効果のために、理論通りの集光ビーム径が形成されない。

【0013】(2)透過型レンズの組合せでは、光路系の汚れ等がレンズに付着した場合、上記の(1)と同様に熱レンズ効果を助長する。

【0014】(3)レーザー光L Bと組合せレンズとの正確なビームアラインメントが要求され、一枚レンズ当たりの微小なアラインメントずれでも最終加工点では結像が困難となる。

【0015】(4)レンズを最低2枚以上を別個に上下動しなければならないために、最大2個のステップモータが必要となり、構造が複雑となり、また可動部分が多くなるために故障の原因となりやすい。

【0016】(5)小さな集光ビーム径と大きな集光ビーム径の2条件に対して、最終端集光レンズ101により形成される有効焦点距離 F_e に差が生じる場合が多く、ノズルと集光ビームL Bが干渉する等の不具合が生じる。

【0017】(6)組合せレンズが汚れなどにより変換の必要が発生したとき、再び3枚のレンズ101、103、105の正確なアラインメントが必要となりメンテナンスがやりにくい。

【0018】(7)レーザー出力3000W以上の棚付の自動化セルシステムでは、薄板加工と厚板加工とが混在しており、現在薄板の5"レンズ、厚板のとき7.5"レンズをオペレータ自身が交換するために、実際のレーザー加工時間以外の機械停止時間が長く、トータルとして加工システムの効率低下となっていた。

【0019】また、図15に示されている従来の光軸移動型レーザー加工装置107においては、曲率可変ミラーM5からバスラインPLまでの距離が1000～1500mm程度と短いため、曲率可変ミラーM5を利用しても集光レンズ111に入射するレーザー光L Bのビーム径Dの最大変化量が約2～3mmと小さいためにレーザー加工点での集光ビーム径 d_0 を大きく変化させることは困難であった。

【0020】本発明は上述の課題を解決するためになされたもので、その目的は、透過型組合せレンズを採用せずに、ワークの板厚に適した集光ビーム径にてレーザー加工を実現し、高出力レーザーにも対応でき、レンズ方式よりも構造的な簡略化を図り、アラインメントズレに対する調整困難さを軽減し得るレーザー加工方法及びその装置を提供することにある。

【0021】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するため

に請求項1によるこの発明のレーザ加工方法は、レーザ発振器から出力されたレーザビームを複数のミラーで反射させた後、ワークに対して相対的にX軸方向及びY軸方向へ移動自在なレーザ加工ヘッド内に設けた集光レンズで集光せしめ、この集光レンズで集光されたレーザビームを加工テーブルに載置したワークへ向けて照射せしめると共に、前記加工テーブルとレーザ加工ヘッドを相対的にX軸方向、Y軸方向へ移動せしめ、前記ワークにレーザ加工を行うレーザ加工方法において、レーザビームの光路中に第1曲率可変ミラーを配置し且つ第2曲率可変ミラーを前記集光レンズの近傍に配置し、前記第1及び第2曲率可変ミラーのうち一方の曲率半径を凹面とし、他方の曲率半径を凸面とするように対で制御すると共にワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定となるように前記第2曲率可変ミラーの曲率半径を制御せしめることを特徴とするものである。

【0022】したがって、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーによるズーム式のレーザ加工システムであるのでレーザ出力3000W以上も適用可能となる。2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径が大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御されるので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。この理由で、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工がレンズの交換なしで容易に行われる。

【0023】しかも、第2曲率可変ミラーの曲率半径が自動的に制御されることによりワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定とすることが容易に行われ、安定したレーザ加工が行われる。

【0024】請求項2によるこの発明のレーザ加工方法は、請求項1記載のレーザ加工方法において、前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御する際に、レーザ加工点で小さな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とし、レーザ加工点で大きな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とすることを特徴とするものである。

【0025】したがって、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径が大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御されるので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。この理由で、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工がレンズの交換なしで容易に行われる。

【0026】請求項3によるこの発明のレーザ加工方法は、請求項1記載のレーザ加工方法において、第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御する際に、レーザ発振器からレーザ加工点までのレーザビームの光路長が近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定とすべき前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径と前記レーザビームの光路長との一次

関数式を予め光伝播計算により求め、この一次関数式に基づいて前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を制御することを特徴とするものである。

【0027】したがって、光軸移動型レーザ加工装置においては、レーザ発振器からレーザ加工点までの距離に対して近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定に保ちながら一次関数式に基づいて直線的に第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御することで安定切断が行われる。

【0028】請求項4によるこの発明のレーザ加工装置は、レーザ発振器から出力されたレーザビームを複数のミラーで反射させた後、レーザ加工ヘッド内に設けた集光レンズで集光せしめ、この集光レンズで集光されたレーザビームを加工すべきワークへ向けて照射せしめると共に、前記加工テーブルとレーザ加工ヘッドを相対的にX軸方向、Y軸方向へ移動せしめ、前記ワークにレーザ加工を行うレーザ加工装置において、レーザビームの光路中に配置した第1曲率可変ミラーと、レーザビームの光路中に集光レンズの近傍に配置した第2曲率可変ミラーと、前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を制御する曲率制御装置と、前記第1及び第2曲率可変ミラーのうち一方の曲率半径を凹面とし且つ他方の曲率半径を凸面とするように対で制御する曲率制御装置に指令を与えると共にワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定となるように前記第2曲率可変ミラーの曲率半径を調整する指令を与える制御装置と、を備えてなることを特徴とするものである。

【0029】したがって、請求項1記載の作用と同様であり、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーによるズーム式のレーザ加工システムであるのでレーザ出力3000W以上も適用可能となる。2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径が大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御されるので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。この理由で、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工がレンズの交換なしで容易に行われる。

【0030】しかも、第2曲率可変ミラーの曲率半径が自動的に制御されることによりワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定とすることが容易に行われ、安定したレーザ加工が行われる。

【0031】請求項5によるこの発明のレーザ加工装置は、請求項4記載のレーザ加工装置において、前記制御装置が、レーザ加工点で小さな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とする指令を与えると共に、加工点で大きな集光ビーム径を形成するとき、第1曲率可変ミラーの曲率半径を凹面とし且つ第2曲率可変ミラーの曲率半径を凸面とする指令を与える指令部を備えてなることを特徴とするものである。

【0032】したがって、請求項2記載の作用と同様で

あり、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径が大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御されるので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。この理由で、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工がレンズの交換なしで容易に行われる。

【0033】請求項6によるこの発明のレーザ加工装置は、請求項4記載のレーザ加工装置において、前記制御装置が、レーザ発振器からレーザ加工点までのレーザビームの光路長が近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定とすべき前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径と前記レーザビームの光路長との一次関数式を記憶するメモリと、この一次関数式に基づいてレーザビームの任意の光路長に対応する前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を計算する演算装置と、この演算装置で求めた計算値に基づいて前記第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御する指令を与える指令部と、を備えてなることを特徴とするものである。

【0034】したがって、請求項3記載の作用と同様であり、光軸移動型レーザ加工装置においては、レーザ発振器からレーザ加工点までの距離に対して近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定に保ちながら一次関数式に基づいて直線的に第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で制御することで安定加工が行われる。

【0035】請求項7によるこの発明のレーザ加工装置は、請求項4、5又は6記載のレーザ加工装置において、前記レーザ加工ヘッドをY軸方向へ移動するYキャレージを設け、このYキャレージをX軸方向に移動するXキャレージを設け、前記第1及び第2曲率可変ミラーをそれぞれ前記Yキャレージおよびレーザ加工ヘッドに設けてなることを特徴とするものである。

【0036】したがって、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーがそれぞれYキャレージおよびレーザ加工ヘッドに設けられることにより、第1及び第2曲率可変ミラーの間の距離が短くても集光レンズ上のビーム径が大きく変化されるので、結果としてレーザ加工点での集光ビーム径が大きく変化されるためにワークの板厚に幅広い対応が可能となる。

【0037】請求項8によるこの発明のレーザ加工装置は、請求項4、5又は6記載のレーザ加工装置において、前記加工テーブルをX軸方向へ移動自在に設け、前記レーザ加工ヘッドをY軸方向へ移動するYキャレージを設け、前記第1曲率可変ミラーを前記レーザ発振器の近傍に設け、前記第2曲率可変ミラーを前記Yキャレージ又はレーザ加工ヘッド内に設けてなることを特徴とするものである。

【0038】したがって、一軸テーブル移動、一軸光軸移動式のレーザ加工装置にも幅広く適用できる。

【0039】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施の形態について図面を参照して詳細に説明する。

【0040】図1を参照するに、本実施の形態に係わる光軸移動型レーザ加工装置1は、反射型曲率可変ミラーによるズームシステムが適用されたものである。なお、図15に示されている従来の光軸移動型レーザ加工装置1と比較するために、便宜上、同様の構造のミラーには同符号が用いられている。

【0041】レーザ加工装置1には、レーザ発振器3が備えられており、このレーザ発振器3内には出力ミラー5が設けられていると共にレーザ発振器3の前方近傍には複数のミラーM10、M9、M8、M7が設けられている。

【0042】なお、光伝播特性の立場からミラーM9には凸ミラー、ミラーM8には凹ミラーが採用され、近場加工点から遠場加工点までの光路差 $\Delta=4.5\text{m}$ に対して平滑ビームとなるようにミラーM9及びミラーM8の曲率が決定され固定されている。

【0043】加工すべきワークWは加工テーブル7上に図示せざるクランプ装置によりクランプされており、このワークWの上方にはX軸方向、Y軸方向へ移動自在なレーザ加工ヘッド9が設けられており、しかも、このレーザ加工ヘッド9内には集光レンズ11が備えられている。レーザ加工ヘッド9は、X軸モータ13にリンクして図示省略のXキャレージによりX軸方向へ、Y軸モータ15によりリンクして図示省略のYキャレージによりY軸方向へ移動されるように構成されている。

【0044】なお、Xキャレージ、Yキャレージの駆動は例えばラックアンドピニオンあるいはボールネジによって行われる。XキャレージにはミラーM6が設けられていると共にYキャレージには2つの第1曲率可変ミラーM5（本実施の形態では「AO1」とも称する）と第2曲率可変ミラーM2（本実施の形態では「AO2」とも称する）並びに複数のミラーM4、M3、M1が設けられている。なお、上記のX軸モータ13及びY軸モータ15は制御装置17に電氣的に接続されている。

【0045】上記構成により、レーザ発振器3から出力されたレーザ光LB（レーザビーム）は複数のミラーM10～M7を経て、さらにミラーM6、第1曲率可変ミラーM5及び複数のミラーM4、M3及び第2曲率可変ミラーM2及びミラーM1を経て、すなわち本実施の形態では合計10枚の反射ミラー（M10～M1）を経てレーザ加工ヘッド9内に備えられた集光レンズ11で集光される。この集光レンズ11で集光されたレーザ光LBは、加工すべきワークWへ向けて照射されてレーザ加工が行われる。

【0046】なお、制御装置17には曲率制御装置19が接続されており、制御装置17から出力されるアナログ信号により曲率制御装置19を介して第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径を変化させるように

なっている。

【0047】一般的に、レーザ光LBには発散角があるために一様な光束径で進行するのではなく徐々に広がっていくので、図3(A)、(B)に示されているようにレーザ加工点におけるレーザ光LBの集光光束径 d_0 は集光レンズ11に入射するレーザ光LBの光束径Dの大きさに左右されるものであり、集光レンズ11におけるレーザ光LBの有効焦点距離 F_e は集光レンズ11自体の焦点距離 F_0 に対して入射するレーザ光LBの発散角(光伝播波面曲率半径 R_e により表される)の影響が付加されるものである。換言すれば、入射するレーザ光LBの光束径Dとレーザ光LBの光伝播波面曲率半径 R_e が異なると、集光光束径 d_0 と有効焦点距離 F_e は変化する。

【0048】また、集光レンズ11に入射する光束径Dの大きさと集光光束径 d_0 の関係は、 $d_0 = 1.27 \lambda M^2 F_e / D$ で表されるので、図3(A)に示されているように光束径Dが小さくなれば集光光束径 d_0 が大きくなる。逆に、図3(B)に示されているように光束径Dが大きくなれば集光光束径 d_0 が小さくなる。

【0049】上述したように、本実施の形態では2枚の第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2を組み合わせたズーミングシステムが形成されている。ワークWに対して最適なレーザ加工点の集光光束径 d_0 にて加工ができるように第1曲率可変ミラーM5と第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を対で制御し、またこれに伴って集光レンズ11の加工点での有効焦点距離 F_e が常に一定となるように第2曲率可変ミラーM2の曲率を調整するのが本発明の基本的な特徴である。

【0050】なお、第1曲率可変ミラーM5からパストラインPL(レーザ加工点)までの距離は1000~1500mm程度と短いため、この間にミラーM5とミラーM2の2枚の曲率可変ミラーが配置されてもほとんどレーザ光LBの発散角の影響はない。

【0051】図2を参照するに、制御装置17は、CPU21を備えており、このCPU21には種々のデータを入力せしめるためのキーボードのごとき入力装置23が接続されていると共に種々のデータを出力するためCRTのごとき表示装置25が接続されている。

【0052】また、CPU21には、入力装置23から入力されたデータや後述する演算装置で計算された計算値を記憶するメモリ27が接続されている。なお、このメモリ27には近場加工点と遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離 F_e がほぼ一定となるように、第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径と出力ミラー5からレーザ加工点までのレーザ光路長との一次関数式が、予めレーザ光LBの光伝播計算に基づいて得られたデータが記憶されている。

【0053】また、CPU21には、上記の一次関数式

に基づいて各レーザ加工点に対応する第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径を計算する演算装置29が接続されている。

【0054】また、CPU21には、第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2のうち一方の曲率半径を凹面とし且つ他方の曲率半径を凸面とするように対で制御すべく曲率制御装置19に指令を与える指令部31が接続されている。

【0055】例えば、レーザ加工点で小さな集光光束径 d_0 を形成するときは、第1曲率可変ミラーM5の曲率半径を凸面とし且つ第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を凹面とする指令を与える。レーザ加工点で大きな集光光束径 d_0 を形成するときは、第1曲率可変ミラーM5の曲率半径を凹面とし且つ第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を凸面とする指令を与えるものである。

【0056】また、上記の指令部31は、ワークWのレーザ加工点での有効焦点距離 F_e をほぼ一定となるように第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を調整する指令も曲率制御装置19に与える。

【0057】また、上記の指令部31は、レーザ発振器3からレーザ加工点までのレーザ光束の光路の距離が近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離 F_e をほぼ一定とすべく、予めメモリ27に記憶されている一次関数式により演算装置29で計算された計算値に基づいて第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径を対で制御する指令を曲率制御装置19に与えるものである。

【0058】より詳しく説明すると、図4及び図5を参照するに、レーザ発振器3の出力ミラー5からの距離が9576mmの近場加工点において集光レンズ11上の光束径Dが小光束($\Phi 16$)及び大光束($\Phi 35$)となるように第1曲率可変ミラーM5と第2曲率可変ミラーM2を制御される一例が示されている。換言すれば、上述したように小光束($\Phi 16$)のときはレーザ加工点での集光光束径 d_0 が大きくなるので厚板のワークWのレーザ加工に適しており、大光束($\Phi 35$)のときは集光光束径 d_0 が小さくなるので薄板のワークWのレーザ加工に適している。

【0059】図4を参照するに、集光レンズ11上の小光束形成(大きい集光光束径 d_0 形成)の例に基づいて光伝播の様子を説明すると、出力ミラー5から出射されたレーザ光LBはミラーM9の凸ミラーにて拡大されてからミラーM8の凹ミラーによりほぼ平滑に制御される。次に、第1曲率可変ミラーM5が8m凹面に設定されることによりレーザ光LBは縮小され、最後に第2曲率可変ミラーM2が5.2m凸面に設定されることにより、集光レンズ11上で $D = \phi 16$ の平滑光束が形成される。

【0060】図5を参照するに、集光レンズ11上の大光束形成(小さい集光光束径 d_0 形成)の例に基づ

いて光伝播の様子を説明すると、ミラーM9及びミラーM8は図4の小ビーム形成の場合と同様に設定され、第1曲率可変ミラーM5が5mR凸面に設定されることによりレーザ光LBは拡大され、第2曲率可変ミラーM2が7.5mR凹面に設定されることにより、集光レンズ11上で $D=\phi 35$ の平滑ビームが形成される。

【0061】以上のように、加工対象板厚に応じて小ビーム径や大ビーム径が形成できるように第1曲率可変ミラーM5と第2曲率可変ミラーM2の曲率半径が対で制御される。なお、この時に形成されるレーザ加工点での集光ビーム径 d_0 は、レンズ焦点距離 $F_0=190.5\text{mm}$ の集光レンズ11が使用されたとき、それぞれ小ビーム($\phi 16$)では $d_0=462\mu\text{m}$ 、大ビーム($\phi 35$)では $d_0=254\mu\text{m}$ となり、厚板切断用と薄板切断用に使用可能となる。

$$F_e \approx F_0 (1 + F_0 / R_e) = F_0 + F_0^2 / R_e \dots\dots (1)$$

(1)式は重要な近似式で、有効焦点距離 F_e がレンズ焦点距離 F_0 を中心として、波面曲率半径 R_e の極性に応じて前後に F_0^2 / R_e だけ変化することになる。

【0065】この有効焦点距離 F_e のパラメータの重要性の理由は、実際のレーザ加工の際に集光レンズ11上で小ビームや大ビームを採用するときに、有効焦点距離 F_e が大きく変化すると加工用ノズル(図示省略)と集光されたレーザ光LBが干渉して加工不良が発生する場合があるからである。したがって、有効焦点距離 F_e を一定となるように第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2が制御される必要がある。

【0066】そこで、図5において集光レンズ11上で大ビーム($\phi 35$)が形成される場合のレーザ加工点での集光レンズ11上の波面曲率半径 R_e は、 $R_e=-171.4(\text{mR})$ と計算されるので、有効焦点距離 F_e は、 190.3mm となる。

【0067】次に、図4において小ビーム($\phi 16$)が形成される場合で、有効焦点距離 F_e が上記の図5における大ビーム形成の場合と同様な値となるように第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を決定するまでの方法について説明する。

【0068】図7を参照するに、このグラフは、加工点9576mmの近場で、第1曲率可変ミラーM5の曲率が8mR凹に固定された場合において、第2曲率可変ミラーM2の曲率半径に対する集光レンズ11上の波面曲率半径 R_e 及び有効焦点距離 F_e の関係を示している。

【0069】図7に示されているように第2曲率可変ミラーM2の曲率半径が $-5.15 \sim -5.1 \text{ mR}$ (凸面)の間に変曲点があり、波面曲率半径 R_e の極性が変化することが判る。

【0070】したがって、(1)式により有効焦点距離 F_e は、(2)式のような一次関数式で表される。

【0071】 $F_e = 2.65 \cdot R_{A02} + 204.1 \dots\dots (2)$
ただし、 R_{A02} は第2曲率可変ミラーM2の曲率半径

【0062】なお、ワークWとしては軟鋼材の薄板から厚板のみならず、ステンレスSUS(アシストガスが N_2)の切断やアルミニウムA1等の切断にも材料特性に応じて適切に第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径を制御して実施可能となる。

【0063】図6を参照するに、次に重要なパラメータは有効焦点距離 F_e であるので、集光レンズ11上の波面曲率半径 R_e と有効焦点距離 F_e との関係について説明する。レーザ光路中の第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2が変化されることにより、集光レンズ11上の波面曲率半径 R_e は、正及び負の極性を持って変化することは良く知られている。一般に、 $|R_e| \gg F_0$ (レンズ焦点距離)のとき、有効焦点距離 F_e は(1)式で近似される。

【0064】

である。

【0072】そこで、(2)式により、 $F_e=190.3\text{mm}$ となるためには $R_{A02}=-5.2\text{m}$ が決定される。

【0073】以上のように、ワークWの加工対象に合わせてレーザ加工点の集光ビーム径 d_0 を適切に制御する場合には、有効焦点距離 F_e が一定となるように第2曲率可変ミラーM2を適切に制御しなければならない。

【0074】図8を参照するに、このグラフでは、上記の概念を取り入れて、加工点9576mmの近場で、集光ビーム径 d_0 が $235 \sim 462\mu\text{m}$ まで変化する場合の第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の制御の方法が示されている。

【0075】このグラフからも明らかなように、集光ビーム径 d_0 が約 $320\mu\text{m}$ より小さい領域では、第1曲率可変ミラーM5の曲率半径 R_{A05} は負(凸面)、第2曲率可変ミラーM2の曲率半径 R_{A02} は正(凹面)に設定されなければならない。また、集光ビーム径 d_0 が約 $350\mu\text{m}$ より大きい領域では、設定するミラーの曲率半径を反転させ、第1曲率可変ミラーM5の曲率半径 R_{A05} は正(凹面)、第2曲率可変ミラーM2の曲率半径 R_{A02} は負(凸面)に設定されなければならない。

【0076】また、図9を参照するに、このグラフは上記の図8の制御方法で得られた結果を集光レンズ11上のビーム直径に対する集光ビーム径 d_0 及び有効焦点距離 F_e の関係でまとめたものである。グラフから集光ビーム径 d_0 の変化に対して有効焦点距離 F_e が一定に制御されていることが判る。

【0077】以上のことから、最終的には、光軸移動型レーザ加工装置1の近場加工点から遠場加工点までの全領域に対して均一な集光ビーム径 d_0 及び有効焦点距離 F_e の基で安定加工が得られなければならない。

【0078】図10を参照するに、このグラフは小ビーム径 D を得る条件で、出力ミラー5からレーザ加工点までの距離に対する集光レンズ11上のビーム径 D の関係

が近場加工点9576mmと遠場加工点13656mmの場合に示されている。この時、遠場加工点でのレンズ上の波面曲率半径 R_e と有効焦点距離 F_e はそれぞれ $R_e=20.1$ (mm)、 $F_e=192.3$ (mm)となり、近場加工点の $F_e=190.3$ (mm)よりも2mm程度長くなり、均一な有効焦点距離 F_e とはならない。

【0079】そこで、図11を参照するに、このグラフは遠場領域においても有効焦点距離 F_e を近場加工点とほぼ同じになるように調整すべく第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を調整した結果を示したものである。このときの設定条件は第1曲率可変ミラーM5が10mR (凹面)で、第2曲率可変ミラーM2が-8.15 mR (凸面)となる。その結果として、遠場領域においても有効焦点距離 F_e は $F_e=190.3$ (mm)となる。以上のように、出力ミラー5からのレーザ光路長に対して第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の曲率半径が変化される必要がある。

【0080】図12を参照するに、このグラフは、集光レンズ11上の上小ビーム径を得るための第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径の設定方法を示すもので、出力ミラー5からの距離に対する第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の曲率半径の関係が示されている。このグラフから、第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の曲率半径は、出力ミラー5からの距離に対して一次関数式で近似できる。その関係式が下記の(3)式及び(4)式に示される。

$$【0081】R_{A01} = 0.4367 \cdot L + 4.04 \dots \dots (3)$$

$$R_{A02} = -0.644 \cdot L + 0.757 \dots \dots (4)$$

ただし、Lは出力ミラー5からの距離である。

【0082】上記の場合と同様、集光レンズ11上の上大ビーム径を得るための第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径を設定するために、第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の曲率半径は出力ミラー5からの距離に対する一次関数式で予め近似できる。

【0083】したがって、上記の一次関数式は予めメモリ27に記憶され、この一次関数式に基づいて演算装置29により出力ミラー5からレーザ加工点までの距離に応じて第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2の曲率半径が計算され、この計算値に基づいて制御すべく指令部31から曲率制御装置19を経て第1曲率可変ミラーM5及び第2曲率可変ミラーM2へ指令が与えられる。

【0084】以上のように、本発明の2枚の第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2によるズーム式のレーザ加工システムが採用されることで、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の曲率半径が大ビームあるいは小ビームに応じて対で、しかも正負の曲率で制御され、さらに、光軸移動型レーザ加工装置1においては、出力ミラー5からの距離に対して直線的に制御されるこ

とで安定切断が可能となる。

【0085】前述した実施の形態では、レーザ加工ヘッド9がワークWに対してX軸方向及びY軸方向へ移動自在な光軸移動型レーザ加工装置1に適用されたもので説明したのであるが、一軸テーブル移動、一軸光軸移動型のレーザ加工装置にも適用される。

【0086】以下、後者のレーザ加工装置33について、前述した実施の形態の場合と同様の構造については同符号を付して説明する。

【0087】図13を参照するに、レーザ加工装置33は、ワークWは加工テーブル37上にクランプ装置35によりクランプされ、加工テーブル37がX軸方向に移動自在に構成されている。また、レーザ加工装置33には、レーザ発振器3が備えられており、レーザ発振器3の前方近傍には複数のミラーM16、M15並びに第1曲率可変ミラーM14 (前述した実施の形態と同様「AO1」と称する)、ミラーM13が設けられている。

【0088】また、加工テーブル37の上方にはレーザ加工ヘッド9がY軸モータ15によりリンクして図示省略のYキャレッジによりY軸方向へ移動されるように構成されており、レーザ加工ヘッド9内には集光レンズ11が備えられている。

【0089】Yキャレッジには第2曲率可変ミラーM12 (前述した実施の形態と同様「AO2」と称する)並びにミラーM11が設けられている。

【0090】上記構成により、レーザ発振器3から出力されたレーザ光LBは複数のミラーM16、M15を経て第1曲率可変ミラーM14、さらにミラーM13、及び第2曲率可変ミラーM12、ミラーM11を経てレーザ加工ヘッド9内に備えられた集光レンズ11で集光される。このとき、第1曲率可変ミラーM14及び第2曲率可変ミラーM12の曲率半径が前述した実施の形態と同様に有効焦点距離 F_e がほぼ一定となるようにして大ビームあるいは小ビームに応じて対で、しかも正負の曲率で制御され、さらに、出力ミラーからの距離に対して直線的に制御される。集光レンズ11で集光されたレーザ光LBは、加工すべきワークWへ向けて照射されてレーザ加工が行われる。

【0091】以上のことから全体的にまとめると、本発明のレーザ加工のシステムでは従来の透過レンズ型ズームシステムに比較して考慮すると以下の利点がある。

【0092】(1)反射ミラー型曲率可変ミラーが採用されているのでレーザ出力3000W以上にも適用可能である。

【0093】(2)透過レンズ型のような熱レンズ効果が発生しないのでレーザ加工システムとして安定する。

【0094】(3)レーザ光LBと組合せレンズとのビームアライメントが透過レンズ型より簡単である。

【0095】(4)メカ的構造が簡略となりうる。

【0096】(5)集光レンズ11上のビーム径Dを拡大あるいは縮小させたり、また有効焦点距離Feを変化させたりする基本動作において、透過レンズ型ではレンズ間の距離を変化させることにより制御する必要があり、このときにレンズ間のアラインメントずれにより、加工点でのノズルとの干渉が生じやすいが、本発明のレーザ加工システムでは第1及び第2曲率可変ミラーM5、M2の位置は動的に変化しないので、結果として安定集光状態が得られる。

【0097】(6)レーザ出力が3000W以上においても集光レンズ11の交換なしに250～450 μ mの集光ビーム径d₀が得られるので、薄板から厚板までのワークWの棚付の自動化用セルシステムなどが効率よく稼動可能となることから、無人化、省力化を図ることができる。

【0098】(7)集光レンズ11に近い位置に配置された第2曲率可変ミラーM2では、図7に示されているように曲率半径の変化に対して焦点位置のみが変化するので、レーザ加工点の焦点位置を大きく上下動したいとき、レンズを上下動するのではなく、制御装置17により第2曲率可変ミラーM2の曲率半径を制御することにより自動焦点が可能となる。

【0099】なお、この発明は前述した実施の形態に限定されることなく、適宜な変更を行うことによりその他の態様で実施し得るものである。

【0100】

【発明の効果】以上のごとき発明の実施の形態の説明から理解されるように、請求項1の発明によれば、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーによるズーム式のレーザ加工システムであるのでレーザ出力3000W以上も適用できる。2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御するので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。したがって、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工をレンズの交換なしで容易に行うことができる。

【0101】しかも、第2曲率可変ミラーの曲率半径を自動的に制御することにより、ワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定とすることを容易に確実にできるので安定したレーザ加工を行うことができる。

【0102】請求項2の発明によれば、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御するので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。したがって、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工をレンズの交換なしで容易に行うことができる。

【0103】請求項3の発明によれば、光軸移動型レーザ加工装置においては、レーザ発振器からレーザ加工点までの距離に対して近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定に保ちながら一次関数式に基づいて直線的に第1及び第2曲率可変ミラーの

曲率半径を対で容易に制御でき安定切断を行うことができる。

【0104】請求項4の発明によれば、請求項1記載の効果と同様であり、2枚の第1及び第2曲率可変ミラーによるズーム式のレーザ加工システムであるのでレーザ出力3000W以上も適用できる。2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御するので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。したがって、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工をレンズの交換なしで容易に行うことができる。

【0105】しかも、第2曲率可変ミラーの曲率半径を自動的に制御することにより、ワークのレーザ加工点での有効焦点距離をほぼ一定とすることを容易に確実にできるので安定したレーザ加工を行うことができる。

【0106】請求項5の発明によれば、請求項2記載の効果と同様であり、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を大ビームあるいは小ビームに応じて対で制御するので、レーザ加工点の集光ビーム径を小さくしたり大きくしたりできる。したがって、薄板用と厚板用のワークのレーザ加工をレンズの交換なしで容易に行うことができる。

【0107】請求項6の発明によれば、請求項3記載の効果と同様であり、光軸移動型レーザ加工装置においては、レーザ発振器からレーザ加工点までの距離に対して近場加工点又は遠場加工点のいずれにおいても有効焦点距離をほぼ一定に保ちながら一次関数式に基づいて直線的に第1及び第2曲率可変ミラーの曲率半径を対で容易に制御でき安定切断を行うことができる。

【0108】請求項7の発明によれば、2枚組の第1及び第2曲率可変ミラーをYキャレージ又はレーザ加工ヘッドに設けたので、第1及び第2曲率可変ミラーの間の距離が短くても集光レンズ上のビーム径を大きく変化できる。その結果、レーザ加工点での集光ビーム径を大きく変化できるので幅広いワークの板厚に対してレーザ加工を行える。

【0109】請求項8の発明によれば、一軸テーブル移動、一軸光軸移動式のレーザ加工装置にも幅広く適用できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明のレーザ加工装置の概略的な説明図である。

【図2】レーザ加工装置を制御せしめる制御装置の構成ブロック図である。

【図3】(A)はレーザ光が大きな集光ビーム径となる状態説明図で、(B)はレーザ光が小さな集光ビーム径となる状態説明図である。

【図4】出力ミラーから近場加工点までの距離に対する小ビーム径を得るときのグラフである。

【図5】出力ミラーから近場加工点までの距離に対する

大ビーム径を得るときのグラフである。

【図6】集光レンズ上での波面曲率半径 R_e と有効焦点距離 F_e を示すもので、(A)は波面曲率半径 R_e が負のときを示し、(B)は波面曲率半径 R_e が正のときを示す状態説明図である。

【図7】AO2の曲率半径に対する集光レンズ上の波面曲率半径 R_e と有効焦点距離 F_e の関係を示すグラフである。

【図8】集光ビーム径に対するAO1とAO2の曲率半径との関係を示すグラフである。

【図9】集光レンズ上でのビーム径に対する集光ビーム径と有効焦点距離との関係を示すグラフである。

【図10】出力ミラーから近場加工点と遠場加工点までの距離に対する小ビーム径を得るときのグラフである。

【図11】出力ミラーから遠場加工点までの距離に対する小ビーム径を得るときのグラフである。

【図12】小ビーム径の場合で、出力ミラーからの距離に対するAO1及びAO2の設定を示すグラフである。

【図13】本発明の他の実施の形態のレーザ加工装置の概略的な説明図である。

【図14】従来のレーザ加工装置における透過組合せレンズのズーム方式を示すもので、(A)はレーザ光

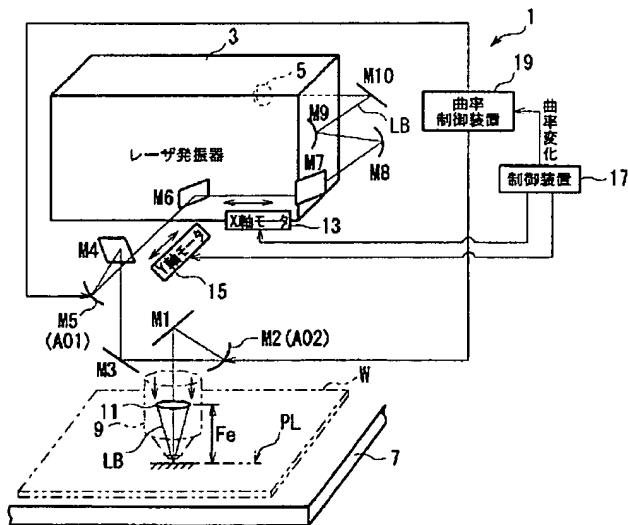
が大きな集光ビーム径となる状態説明図で、(B)はレーザ光が小さな集光ビーム径となる状態説明図である。

【図15】従来のレーザ加工装置の概略的な説明図である。

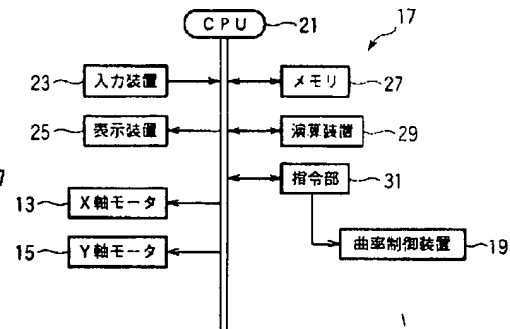
【符号の説明】

- 1 レーザ加工装置
- 3 レーザ発振器
- 5 出力ミラー
- 9 レーザ加工ヘッド
- 11 集光レンズ
- 13 X軸モータ
- 15 Y軸モータ
- 17 制御装置
- 19 曲率制御装置
- 27 メモリ
- 29 演算装置
- 31 指令部
- 33 レーザ加工装置
- 37 加工テーブル
- M1, M3~M4, M6~M10 ミラー
- M5 第1曲率可変ミラー(AO1)
- M2 第2曲率可変ミラー(AO2)

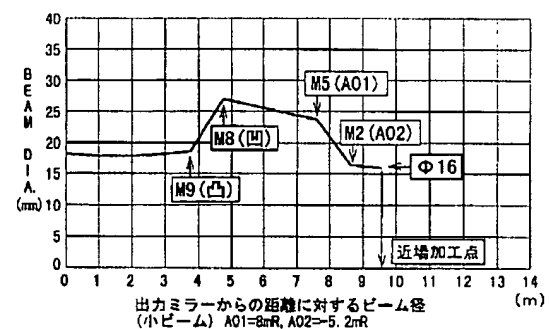
【図1】



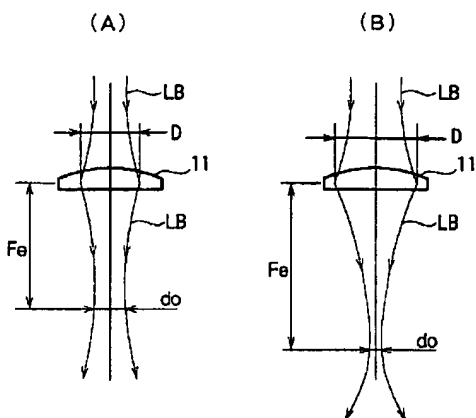
【図2】



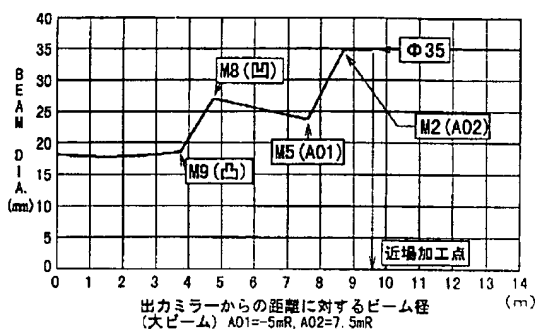
【図4】



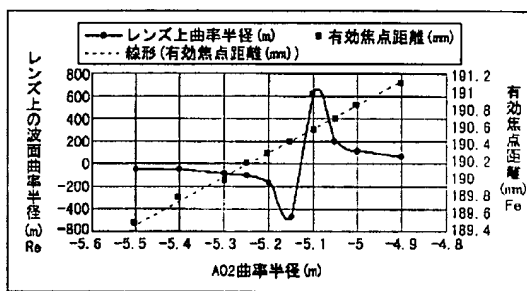
【図3】



【図5】

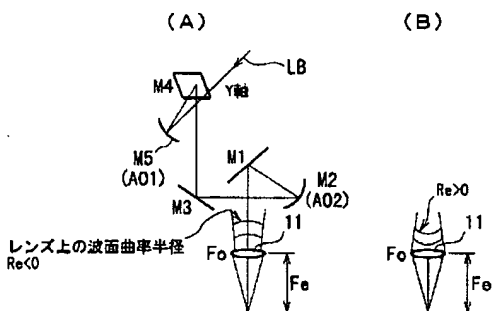


【図7】

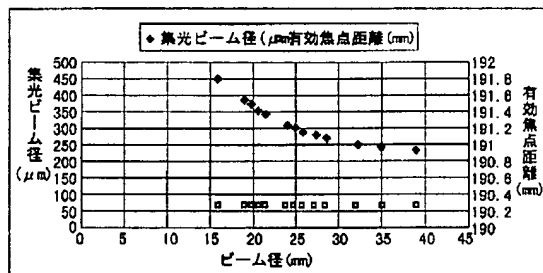


A02曲率半径に対するレンズ上の波面曲率半径 R_e と有効焦点距離 F_e
(但し、A01曲率半径 $=8mR$ 凹面の時) (近場加工点にて)

【図6】

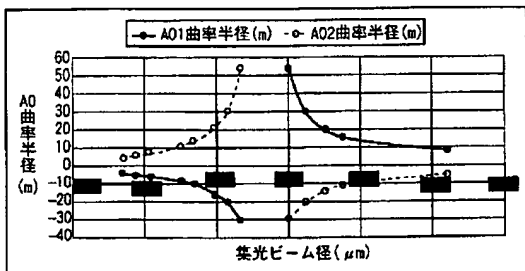


【図9】



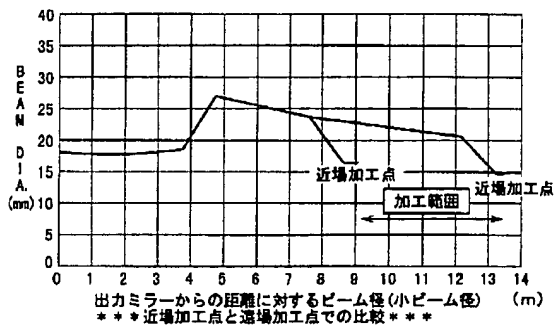
ビーム径に対する集光ビーム径と有効焦点距離の関係 (近場加工点にて)

【図8】

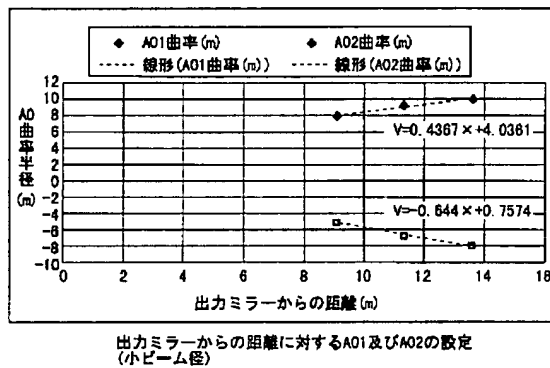


加工点集光ビーム径に対するA01及びA02の曲率半径 (近場加工点にて)

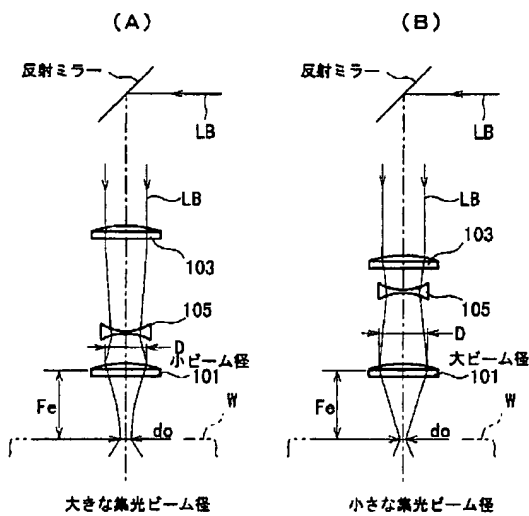
【図10】



【圖 12】

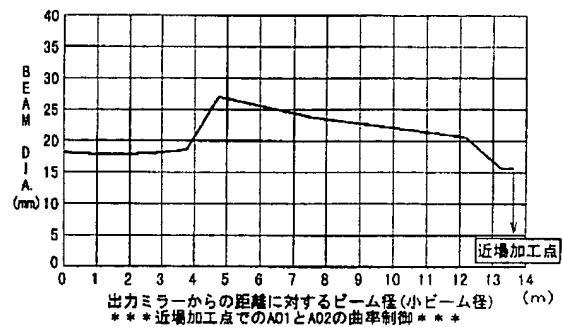


【図14】

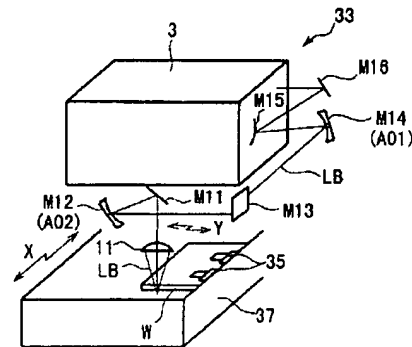


透過組合せレンズでのズーミング方式

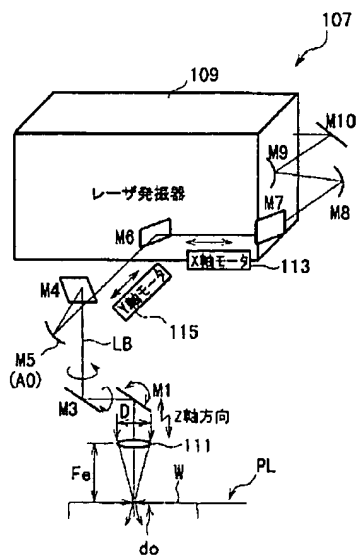
【图 1 1】



【図13】



【図15】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☐ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☒ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.